

湖南省湘资沅澧四大流域管网末梢水中重金属的健康风险评价

陈艳华, 王非, 黄涛, 胡冀, 陈培厚
湖南省疾病预防控制中心, 湖南 长沙 410005

摘要: **目的** 了解湖南省湘资沅澧流域管网末梢水中八种重金属的污染状况, 对其产生的健康风险进行评价。 **方法**

本研究对 2014 年湖南省湘、资、沅、澧流域管网末梢水中砷、镉、六价铬、铅、汞、硒、锰、锌 (As、Cd、Cr⁶⁺、Pb、Hg、Se、Mn、Zn) 的含量进行检测, 并进行健康风险评价。 **结果** 八种重金属在丰水期和枯水期的含量均未超过国标限值。四大流域中, 仅湘江流域的 As、Cd 和丰水期的 Cr⁶⁺, 致癌风险稍高于限值, 其余的致癌风险值均小于 10⁻⁴, 但四种重金属合计致癌风险在丰水期为 1.32×10⁻⁴, 枯水期为 1.50×10⁻⁴, 稍高于限值 10⁻⁴。全流域 As、Cd、Cr⁶⁺、Hg、Se、Mn、Zn 的单独及合计非致癌风险在丰水期和枯水期均小于 1。重金属所致非致癌风险和致癌风险在不同水期和不同流域差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。 **结论** 湖南省湘资沅澧流域管网末梢水中重金属的联合污染可能对人群产生健康风险, 建议相关地区卫生和环保部门重视四大流域内的重金属污染。

关键词: 湘资沅澧四大水系; 重金属; 末梢水; 健康风险评价

中图分类号: R123.1 文献标识码: A 文章编号: 1006-3110(2018)02-0171-05 DOI: 10.3969/j.issn.1006-3110.2018.02.013

Health risk assessment of heavy metals in tap water from the Xiang, Zi, Yuan and Li River in Hunan Province

CHEN Yan-hua, WANG Fei, HUANG Tao, HU Ji, CHEN Pei-hou

Hunan Provincial Center for Disease Control and Prevention, Changsha, Hunan 410005, China

Corresponding author: CHEN Pei-hou, E-mail: 30463659@qq.com

Abstract: **Objective** To investigate the pollution status of 8 kinds of heavy metals in tap water from the Xiang, Zi, Yuan and Li River in Hunan Province so as to evaluate the health risk induced by the heavy metals. **Methods** We tested the concentration of arsenic (As), cadmium (Cd), hexavalent chromium (Cr⁶⁺), lead (Pb), mercury (Hg), selenium (Se), manganese (Mn) and zinc (Zn) in tap water from the Xiang, Zi, Yuan and Li River in Hunan Province in 2014, and then evaluated their health risk. **Results** The concentration of the 8 kinds of heavy metals in wet and dry seasons was both below the detection limits of national standards. Among the four rivers, only the carcinogenic risks of As and Cd in two seasons and Cr⁶⁺ in wet season in the Xiang River were all slightly higher than the acceptable limits, while the carcinogenic risk limits of the other heavy metals were all lower than 10⁻⁴. The combined carcinogenic risks of As, Cd, Cr⁶⁺ and Pb were 1.32×10⁻⁴ in wet season and 1.50×10⁻⁴ in dry season, which were both slightly higher than the limit (10⁻⁴). The single and combined non-carcinogenic risks of the 7 heavy metals (including As, Cd, Cr⁶⁺, Hg, Se, Mn and Zn) in wet and dry seasons in the Xiang, Zi, Yuan and Li River were all less than 1. The heavy-metal-induced non-carcinogenic and carcinogenic risks showed statistically significant differences between the two seasons as well as among the four river basins (both $P < 0.05$). **Conclusions** The heavy-metal-induced combined pollution in tap water from the Xiang, Zi, Yuan and Li River in Hunan Province may pose health risks to local people; and hence, the relevant local health and environmental protection departments should pay special attention to the heavy-metal-induced pollution in the four rivers.

Key words: the Xiang, Zi, Yuan and Li River; heavy metal; tap water; health risk assessment

基金项目: 湖南省科技厅 2011 年第八批省级科技计划 (国际科技合作计划) 项目 (2011WK2003)

作者简介: 陈艳华 (1974-), 男, 湖南永州人, 本科学历, 主管医师, 研究方向: 环境卫生。

通信作者: 陈培厚, E-mail: 30463659@qq.com。

近年来, 饮水中重金属对人体健康的影响受到了越来越多的关注。重金属在水中不易降解且具有生物富集性, 通过饮水和食物链进入人体, 可能对人体产生各种不利影响^[1-4], 水环境中重金属来源主要包括: 自然来源、生活来源、农业污染以及工业污染^[5]。湖南

省境内有湘江、资水、沅江、澧水四大水系,水资源丰富,城乡依水而建,农业发达。同时,湖南省素有“有色金属之乡”的称号,矿产资源丰富,矿产工业发达,这些因素综合作用可能导致饮用水中重金属浓度的偏高,从而对人群健康产生不利影响。目前,对湖南省四大水系流域范围内,生活饮用管网末梢水中重金属的污染现状及其对人体健康风险的研究还很少,故本研究对湖南省四大水系流域范围内管网末梢水中 As、Cd、Cr⁶⁺、Pb、Hg、Se、Mn、Zn 的含量进行了检测,并采用美国环保局推荐的健康风险评价模型对末梢水中重金属经饮口途径导致的健康风险进行评价,以明确其所致健康危害的风险度,为饮用水环境风险管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品的收集、贮存和检测 分别在湘江、资水、沅江、澧水流域水网上中下游分别选取一个县作为监测点,综合考虑各县疾控中心实验室检测能力进行调整,最终选取表 1 中县区作为监测点,于 2014 年对其区域内管网末梢水进行采样。样品采集、保存、运输根据《生活饮用水标准检验方法 水样的采集与保存》(GB/T 5750.2-2006)中要求进行,检测每份样品中砷(As)、镉(Cd)、六价铬(Cr⁶⁺)、铅(Pb)、汞(Hg)、硒(Se)、锰(Mn)和锌(Zn)的含量,检测方法采用《生活饮用水标准检验方法 金属指标》(GB/T 5750.6-2006)中相应方法。

表 1 湘、资、沅、澧水域管网末梢水样本分布

流域类型	区县	样本量(个)	
		丰水期*	枯水期*
湘江流域	衡南县	52	51
	常宁市	44	44
	祁阳县	37	37
沅江流域	武陵区	42	42
	沅陵县	39	39
	洪江市	34	34
	溆浦县	63	63
	沅江市	28	28
澧水流域	石门县	32	32
	慈利县	59	59
资水流域	冷水江市	50	49
	安化县	35	34
合计		515	512

注: * 丰水期:5-10 月,枯水期:1-4 月及 11-12 月。

1.2 人体健康风险评价 本研究采用美国国家环保局(USEPA)颁布的 Risk Assessment in Federal Government: Managing the Process 中提出的四步法^[6]:数据收集和评价、毒性评价、暴露评价、风险表征,对管网末梢水中各类重金属经饮水途径所致致癌风险和

非致癌风险进行评价。

1.2.1 毒性评价 根据国际癌症研究机构(IARC)的致癌性分类标准和 USEPA 的 IRIS 数据库(<http://www2.epa.gov/iris>)以及美国加州环保局(Cal/EPA)OEHHA 毒性标准数据库(<http://www.oehha.ca.gov/tcdb/index.asp>),评价 As、Cd、Cr⁶⁺、Pb 的致癌风险,同时也评价 As、Cd、Cr⁶⁺、Hg、Se、Mn、Zn 的非致癌风险。致癌风险评价所需斜率因子(SF)以及非致癌风险评价所需日均参考剂量(RfD)见表 2。

表 2 重金属经口致癌暴露的 SF 和 RfD 值

目标污染物	致癌物斜率因子 SF	非致癌物参考剂量
	[mg/(kg·d)]	[mg/(kg·d)]
砷	1.5	3×10 ⁻⁴
镉	15	5×10 ⁻⁴
六价铬	0.5	3×10 ⁻³
铅	0.00085	-
汞	-	1.6×10 ⁻⁴
硒	-	5×10 ⁻³
锰	-	1.4×10 ⁻¹
锌	-	3×10 ⁻¹

1.2.2 暴露评价 本研究仅考虑经饮水途径暴露重金属所致的健康风险,某重金属经饮水途径的日均摄入量(LADD)依据下式(1)计算。

$$LADD = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \dots\dots\dots (1)$$

式中,C:末梢水中某重金属浓度,mg/L;IR:摄入率,L/d;EF:暴露频率,d/a;ED:暴露持续时间,a;BW:体重,kg;AT:平均接触时间,d。由于我国人种、气候、生活和饮食习惯与国外差异较大,直接引用国外暴露参数可能导致过大的偏倚。因此,参考国内有关文献资料^[7-9],人均寿命 AT 为 74.8 a,暴露频率 EF 为 365 d/a,其余饮水途径暴露量计算参数见表 3。

表 3 饮水途径暴露量计算参数

年龄段(岁)	ED/a	BW/kg	IR/(L/d)
0~	7.00	14.9	1.046
7~	11.00	40.71	1.089
18~	42.00	61.25	1.125
60~74.8	14.80	59.40	1.000

则:LADD=C×(1.04/14.9×365×7+1.089/40.71×365×11+1.125/61.25×365×42+1/59.4×365×14.8)/(365×74.8)=0.024C …………… (2)

1.2.3 风险表征 某种重金属经饮水途径导致的终身致癌风险度 ILCR 以及终身非致癌风险度 HQ 计算公式如下:

$$ILCR = LADD \times SF \dots\dots\dots (3)$$

$$HQ = \frac{LADD}{RfD} \dots\dots\dots (4)$$

1.2.4 健康风险评价标准 本研究根据国际辐射

防护委员会推荐的标准,ILCR 在 $1.0\times10^{-6}\sim1.0\times10^{-4}$ 为可接受的致癌风险,如果超过 1.0×10^{-4} 则认为存在潜在的致癌风险;如果 $HQ\leq1$,则认为不存在潜在的非致癌风险,如果 $HQ>1$,则认为存在潜在的非致癌风险。

1.3 统计学方法 本研究采用 Excel 2013 建立数据库,采用 SPSS 13.0 软件进行数据分析,所有实验数据均以中位数(第 25 百分位数~第 75 百分位数) [$M(P_{25}\sim P_{75})$] 表示。两组比较用 Wilcoxon 秩和检验,多

组比较采用 Kruskal-Wallis 秩和检验,检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结 果

2.1 水质分析结果 湘、资、沅、澧流域丰水期和枯水期管网末梢水中 8 种重金属浓度结果的中位数和四分位数见表 4。与 GB 5749-2006《生活饮用水卫生标准》中对应指标进行比较后发现,全流域管网末梢水中 8 种重金属在丰水期和枯水期均未超过标准限值。

表 4 湘、资、沅、澧水域管网末梢水 8 种重金属的含量检测结果(μg/L) [$M(P_{25}\sim P_{75})$]									
流域类型	水期	砷	镉($\times10^{-1}$)	六价铬	铅	汞($\times10^{-1}$)	硒	锰($\times10$)	锌($\times10$)
湘江流域	丰	5.0(3.0~5.0)	14(5.0~30)	9.8(5.0~20)	4.0(0.50~5.0)	1.0(0.5~5.0)	2.5(2.5~5.0)	4.9(0.50~5.0)	5.9(1.0~3.1)
	枯	5.0(3.0~5.0)	5.0(3.8~20)	6.1(5.0~20)	2.20(0.50~5.0)	1.0(0.5~5.0)	2.5(2.5~5.0)	2.6(0.050~5.0)	5.0(1.8~19)
沅江流域	丰	0.50(0.500~0.500)	2.5(2.5~2.5)	2.0(2.0~2.0)	1.3(1.3~1.3)	0.50(0.50~1.0)	0.20(0.20~0.50)	5.0(5.0~5.0)	4.0(2.5~5.0)
	枯	0.50(0.50~1.4)	2.5(2.5~2.5)	2.0(2.0~2.0)	1.3(1.3~1.3)	0.50(0.50~1.0)	0.20(0.20~0.50)	5.0(3.0~5.0)	4.5(2.5~5.0)
澧水流域	丰	2.0(0.50~2.9)	2.3(1.0~3.4)	4.3(2.0~5.4)	4.5(2.5~6.5)	1.0(1.0~1.0)	0.50(0.50~0.50)	2.7(1.8~5.0)	6.7(4.6~8.0)
	枯	1.3(0.50~2.0)	1.6(1.0~2.6)	2.8(2.0~4.4)	3.1(2.5~5.0)	1.0(1.0~1.0)	0.50(0.50~0.50)	2.9(1.6~5.0)	7.9(2.5~10)
资水流域	丰	0.50(0.50~0.50)	2.5(2.0~2.5)	2.0(2.0~2.0)	2.0(1.3~2.0)	0.50(0.50~1.6)	0.50(0.20~0.05)	5.0(2.5~5.0)	5.0(2.5~5.0)
	枯	1.0(0.50~1.0)	5.0(2.5~5.0)	4.0(2.0~4.0)	5.0(1.3~5.0)	1.0(0.5~1.0)	1.0(0.020~1.0)	10.0(2.5~10.0)	10(2.5~10.0)
全流域平均	丰	0.50(0.50~3.2)	2.5(2.4~4.4)	2.0(2.0~5.0)	2.0(1.3~3.5)	1.0(0.5~1.0)	0.50(0.20~0.50)	5.0(2.5~5.0)	5.0(2.5~7.0)
	枯	1.0(0.50~3.0)	2.5(2.5~5.0)	2.0(2.0~5.0)	1.9(1.3~4.1)	1.0(0.5~1.0)	0.50(0.20~1.0)	5.0(2.5~5.0)	5.0(2.5~10)

2.2 潜在健康风险评价结果

2.2.1 致癌风险 利用式(3)计算出四大流域管网末梢水中各重金属经饮水暴露的潜在致癌风险,结果见表 5。

从湘、资、沅、澧全流域来看,仅湘江流域的 As、Cd 和丰水期的 Cr^{6+} ,致癌风险稍高于限值,其余的致癌风险值均小于 10^{-4} 。但 4 类重金属的合计风险值在丰水期和枯水期均稍高于可接受限(丰水期: 1.32×10^{-4} ,枯水期: 1.50×10^{-4})。全流域丰水期和枯水期各重金属经饮水途径所致致癌风险的 Wilcoxon 秩和检验(正太近似法)发现,铬在丰水期和枯水期的致癌风险差异有统计学意义($Z=-2.246,P=0.025$)。分流域看,湘江流域镉($Z=-3.641,P<0.001$),沅江流域的六价铬($Z=-4.609,P<0.001$),铅($Z=-3.224,P=0.001$),澧水流

域砷($Z=-2.285,P=0.022$)、镉($Z=-2.899,P=0.04$)、六价铬($Z=-3.184,P=0.001$)、铅($Z=-2.768,P<0.006$),资水流域砷($Z=-7.261,P<0.001$)、镉($Z=-7.261,P<0.001$),六价铬($Z=-7.635,P<0.001$)、铅($Z=-3.261,P=0.001$)所致致癌风险在丰水期和枯水期之间差异有统计学意义。

相同水期下,比较砷、镉、六价铬、铅在不同流域通过饮水途径的致癌风险,经 Kruskal-Wallis 秩和检验,丰水期四大流域中砷、镉、六价铬、铅的 H 值分别为 143.991、190.469、315.783、156.559,均 $P<0.001$,枯水期四大流域中砷、镉、六价铬、铅的 H 值分别为 101.599、150.298、204.781、105.286,均 $P<0.001$,表明 4 种重金属在不同流域所致致癌风险差异有统计学意义,结果见图 1。

表 5 四大流域不同水期四种致癌重金属经口暴露的致癌风险 [$M(P_{25}\sim P_{75})$]					
流域类型	水期类型	砷($\times10^{-4}$)	镉($\times10^{-4}$)	六价铬($\times10^{-4}$)	铅($\times10^{-8}$)
湘江流域	丰	1.80(1.08~1.80)	4.86(1.80~10.8)	1.18(0.600~2.42)	8.16(1.02~10.2)
	枯	1.80(1.08~1.80)	1.80(1.37~7.20)	0.732(0.600~2.42)	4.49(1.02~10.2)
沅江流域	丰	0.180(0.180~0.180)	0.900(0.900~0.900)	0.240(0.240~0.240)	2.55(2.55~4.08)
	枯	0.180(0.180~0.512)	0.900(0.900~0.900)	0.240(0.240~0.240)	2.55(2.55~2.65)
澧水流域	丰	0.720(0.180~1.04)	0.828(0.360~1.22)	0.516(0.240~0.648)	9.18(5.10~13.3)
	枯	0.468(0.180~0.720)	0.576(0.360~0.936)	0.336(0.240~0.528)	6.32(5.1~10.2)

续表 5

流域类型	水期类型	砷($\times 10^{-4}$)	镉($\times 10^{-4}$)	六价铬($\times 10^{-4}$)	铅($\times 10^{-8}$)
资水流域	丰	0.180(0.180~0.180)	0.900(0.720~0.900)	0.240(0.240~0.240)	4.08(2.55~4.08)
	枯	0.360(0.180~0.360)	1.80(0.900~1.80)	0.480(0.240~0.480)	10.2(2.55~10.2)
全流域平均	丰	0.180(0.180~1.14)	0.900(0.864~1.58)	0.240(0.240~0.600)	4.08(2.55~7.04)
	枯	0.360(0.180~1.06)	0.900(0.900~1.80)	0.240(0.240~0.600)	3.88(2.55~8.31)

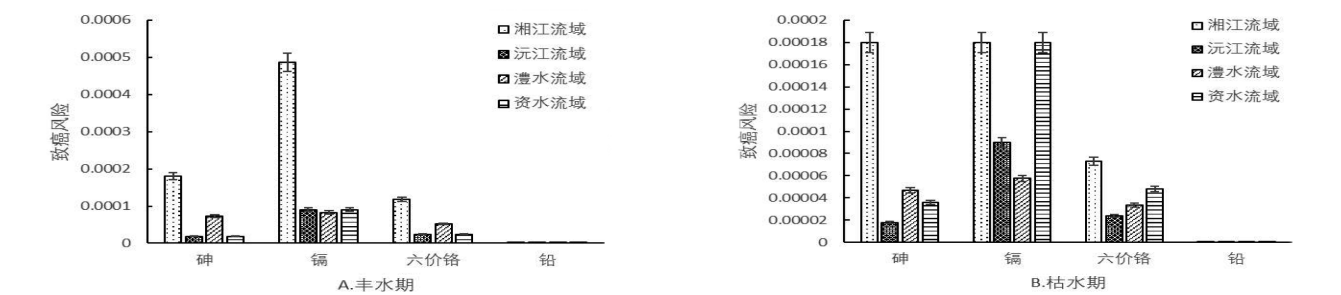


图 1 丰水期与枯水期四大流域四种致癌重金属的致癌风险比较

2.2.2 非致癌风险 利用式(4)计算出四大流域管网末梢水中各重金属经饮水暴露的潜在非致癌风险,结果见表 6。

从湘、资、沅、澧全流域来看,无论丰水期还是枯水期,管网末梢水中单个重金属经饮水途径所致平均非致癌风险均低于 1,7 类重金属所致平均非致癌风险的合计在丰水期和枯水期也均低于 1(丰水期:0.0980,枯水期:0.138)。

全流域丰水期和枯水期各重金属经饮水途径所致非致癌风险的 Wilcoxon 秩和检验(正太近似法)发现,铬($Z = -2.246, P = 0.025$)、汞($Z = -3.293, P = 0.001$)、硒($Z = -2.176, P = 0.03$)、锌($Z = -2.888, P = 0.004$)在丰水期和枯水期的非致癌风险差异有统计学意义;分流域来看,湘江流域镉($Z = -3.641, P < 0.001$)、沅江流域的铬($Z = -4.609, P < 0.001$)、锌($Z = -2.316, P = 0.021$),澧水流域砷($Z = -2.285, P =$

0.022)、镉($Z = -2.899, P = 0.04$)、铬($Z = -3.184, P = 0.001$)、锌($Z = -2.199, P = 0.028$),资水流域砷($Z = -7.261, P < 0.001$)、镉($Z = -7.261, P < 0.001$)、铬($Z = -7.635, P < 0.001$)、硒($Z = -4.528, P < 0.001$)、锰($Z = -3.597, P < 0.001$)、锌($Z = -3.02, P = 0.003$)所致非致癌风险在丰水期和枯水期之间差异有统计学意义。

相同水期下,比较砷、镉、铬、汞、硒、锰、锌在不同流域通过饮水途径的非致癌风险,经 Kruskal-Wallis 秩和检验,丰水期四大流域中砷、镉、铬、汞、硒、锰和锌的 H 值分别为 143.991、190.469/315.783、42.482、260.583、39.404、33.464,均 $P < 0.001$,枯水期四大流域中砷、镉、铬、汞、硒、锰、锌的 H 值分别为 101.599、150.298、204.781、62.713、203.123、65.124、20.606,均 $P < 0.001$,表明 4 种重金属在不同流域所致非致癌风险差异有统计学意义,结果见图 2。

表 6 四大流域不同水期七种非致癌重金属经口暴露的非致癌风险[$M(P_{25} \sim P_{75})$]

流域类型	水期类型	砷(10^{-1})	镉(10^{-2})	六价铬(10^{-2})	汞(10^{-2})	硒(10^{-2})	锰(10^{-3})	锌(10^{-3})
湘江流域	丰	4.0(2.4~4.0)	6.4(2.4~14)	7.8(4.0~16)	1.5(0.75~7.5)	1.2(1.2~2.4)	8.4(0.086~8.6)	4.7(0.82~24)
	枯	4.0(2.4~4.0)	2.4(1.8~9.6)	4.9(4.00~16.2)	1.5(0.75~7.5)	1.2(1.2~2.4)	4.5(0.086~8.6)	4.0(1.4~15)
沅江流域	丰	0.40(0.40~0.40)	1.2(1.2~1.2)	1.6(1.6~1.6)	0.75(0.75~1.5)	0.096(0.096~0.24)	8.6(8.6~8.7)	3.2(2.0~4.0)
	枯	0.04(0.04~0.11)	1.2(1.2~1.2)	1.6(1.6~1.6)	0.75(0.75~1.5)	0.096(0.096~0.24)	8.6(5.1~8.6)	3.6(2.0~4.0)
澧水流域	丰	1.6(0.4~2.3)	1.1(0.48~1.6)	3.4(1.6~4.3)	1.5(1.5~1.5)	0.24(0.24~0.24)	4.6(3.1~8.6)	5.4(3.7~6.4)
	枯	1.0(0.40~1.6)	0.77(0.48~1.3)	2.2(1.6~3.5)	1.5(1.5~1.5)	0.24(0.24~0.24)	5.0(2.7~8.6)	6.3(2.0~8.0)
资水流域	丰	0.40(0.40~0.40)	0.12(0.96~1.2)	1.6(1.6~1.6)	0.75(0.75~2.4)	0.24(0.096~0.24)	8.6(4.3~8.6)	4.0(2.0~4.0)
	枯	0.80(0.40~0.80)	2.4(1.2~2.4)	3.2(1.6~3.2)	1.5(0.75~1.5)	0.48(0.096~0.48)	17(4.3~17)	8.0(2.0~8.0)
全流域平均	丰	0.40(0.40~2.5)	1.2(1.2~2.1)	1.6(1.6~4.0)	1.5(0.75~1.5)	0.24(0.096~0.24)	8.6(4.3~8.6)	4.0(2.0~5.6)
	枯	0.80(0.40~2.4)	1.2(1.2~2.4)	1.6(1.6~4.0)	1.5(0.75~1.5)	0.24(0.096~0.48)	8.6(4.3~8.6)	4.0(2.0~8.0)



图2 丰水期与枯水期四大流域七种重金属的非致癌风险比较

2.3 不确定性分析

2.3.1 重金属浓度的不确定性 管网末梢水中重金属的浓度可能受到多种因素的影响而改变,如降水,人类活动,管网污染等影响,都可能会改变重金属在末梢水中的变化,从而改变潜在的健康风险。

2.3.2 暴露参数的不确定性 我国已出版了《中国人群暴露参数手册(成人版)》,但尚缺乏低年龄段人群的暴露参数,为了反映中国人一生的平均暴露剂量,本文参考了近年多篇文献的数据,分年龄段计算暴露参数再求和得到一生的平均暴露剂量,但其中的参数可能与湖南省境内实际情况存在一定偏差。

2.3.3 不同重金属健康效应相互作用的不确定性 本研究仅认为不同重金属对人体健康的影响为简单的相加作用,忽略了可能存在的协同或拮抗作用。

2.3.4 暴露途径的不确定性 本研究仅考虑了末梢水中污染物经饮水途径所致的致癌风险和非致癌风险,未考虑皮肤接触的途径,存在忽略一部分潜在致癌风险和非致癌风险的情况。

3 讨论

本文主要对湖南省境内的四大主要水域的管网末梢水中八种重金属含量进行检测,并根据检测结果对其造成的致癌和致癌风险进行了评价。由结果可知,湘、资、沅、澧四大流域管网末梢水中重金属经饮水途径所致健康风险主要为致癌风险,非致癌风险均在可接受范围内。无论从全流域还是各流域来看,镉是管网末梢水中主要的致癌风险重金属。湘江流域的镉致癌风险值最高,这与有关研究的结果一致^[10]。湘江流域的镉污染主要来自于沿岸矿山、冶炼、铸造等行业的粗放发展以及监管不力造成的历史污染^[11]。众所周知,湘江流域集中了湖南主要的有色金属和稀有金属矿藏的开采和冶炼企业,形成了郴州三十六湾、衡阳水口山、株洲霞湾港、湘潭竹埠港四大采选冶炼污染中心,这些污染中心历史悠久,造成了湘江流域重金属,特别是镉的累积和迁移,最终通过饮水和食物链等途径进入人体,对人体健康产生不利影响^[12]。在非致癌

风险中,砷的风险值最大,砷可能对肝脏、神经发育、生殖系统产生不利影响^[13-15]。另外,四大流域内重金属经饮水途径所致致癌风险和非致癌风险在丰水期和枯水期之间存在差异,并且四大流域并不一致:如湘江和澧水流域丰水期的风险高于枯水期的,但资水流域相反,这提示水体的污染不仅和水期有关,还可能和当地的工农业季节性的生产高峰有关,因此,建议当地卫生和环保部门重点关注污染严重的水期可能造成污染的原因,加大控制改造力度,进一步降低本地区生活饮用水中的重金属对健康造成的风险。

参考文献

- [1] 纪春燕. 低砷饮水暴露对心血管系统的影响及膳食营养因素作用的研究[D]. 苏州:苏州大学,2011.
- [2] 徐辉,潘顺叶,周魏明,等. 慢性饮水染镉对雄性小鼠生育机能的影响[J]. 毒理学杂志, 2015, 29(1): 47-49.
- [3] 王禹,金陵之,宋鹏,等. 饮水暴露六价铬对SD大鼠外周血DNA损伤和氧化应激的影响[J]. 环境与职业医学, 2013, 30(2): 117-121.
- [4] 吴燕明. 亚慢性饮水锰染毒对大鼠血液系统的影响[J]. 环境与健康杂志, 2008, 5(11): 973-975.
- [5] 岳霞,刘魁,林夏露,等. 中国七大主要水系重金属污染现状[J]. 预防医学论坛, 2014, 20(3): 209-213.
- [6] U.S. National Research Council. Risk assessment in federal government: managing the process[M]. Washington DC: National Academy Press, 1983: 17-48.
- [7] 段小丽,聂静,王宗爽,等. 健康风险评价中人体暴露参数的国内外研究概况[J]. 环境健康与杂志, 2009, 26(4): 370-373.
- [8] 陈康. 健康风险评价中经饮水途径暴露参数的估计[J]. 环境卫生学杂志, 2015, 5(4): 348-352.
- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 中国居民营养与慢性病状况报告(2015)[R]. 北京, 2015.
- [10] Wang Z, Chai L, Wang Y, et al. Potential health risk of arsenic and cadmium in groundwater near Xiangjiang River, China: a case study for risk assessment and management of toxic substances[J]. Environ Monit Assess, 2011, 175(1-4): 167-173.
- [11] 刘耀驰,高栗,李志光,等. 湘江重金属污染现状、污染原因分析与对策探讨[J]. 环境保护科学, 2010, 36(1): 26-29.
- [12] 田娇,朱志良. 镉电池厂职业性慢性镉中毒发病情况分析[J]. 实用预防医学, 2012, 19(1): 35-36.
- [13] 马艳. 无机肝毒性的剂量-反应(效应)关系研究[D]. 乌鲁木齐:新疆医科大学,2014.
- [14] 刘嘉鸣. 不同价态砷染毒大鼠脑组织砷代谢性别差异研究[D]. 乌鲁木齐:新疆医科大学,2014.
- [15] 南楠. 砷、锌对雄性大鼠生殖功能的联合作用[D]. 重庆:重庆医科大学,2014.